

Wi-Fi Fingerprint 기반 실내 측위 기법 성능 예측에 관한 연구

김덕주, 광명철, 송정환, 권태경
서울대학교 컴퓨터공학부

{djkim, mckwak, jhsong}@mmlab.snu.ac.kr, tkkwon@snu.ac.kr

A Research on Estimating Wi-Fi based Indoor Localization Performance

Duckju Kim, Myungchul Kwak, Junghwan Song, Taekyoung “Ted” Kwon
Department of Computer Science and Engineering, Seoul National University

요약

본 논문은 측위 대상 공간 사전 조사 단계의 Wi-Fi Fingerprint 기반 분석을 이용한 Wi-Fi 신호 기반 실내 측위 시스템의 성능을 예측하는 방법을 제안하였다. Wi-Fi 실내 측위 기법에 사용되는 Wi-Fi Fingerprint matching에 있어서 목표 Grid와 이웃한 Grid의 Fingerprint의 유사성과, 목표 Grid 안에서 Wi-Fi AP 감지의 안정성 등이 실내 측위 성능에 직결되는 matching 성능에 확연한 영향을 미친다는 것을 파악하였다. 이에 기반하여 Wi-Fi 기반 실내 측위 성능이 떨어지는 구역을 예측하고 선정하여, 다른 센서에 기반한 보정 방법을 통해 넓은 공간에서도 정확하게 측위를 할 수 있는 실내 측위 기법 개발 가능성을 열어두었다.

I. 서론

Wi-Fi 신호를 이용한 실내 측위 기술이 발전하면서, 일반적인 회사 사무실 정도 크기의 좁은 공간에서는 상대적으로 정확한 측위가 가능하게 되었다. 그러나 대형 마트, 공항 등의 넓은 공간의 경우는 좁은 공간에 비해서 구획이 일정치 않아 사용자의 이동 경로 또한 다양하며, Multipath Fading 과 인체에 의한 무선 신호 감쇄가 일어날 확률이 높으므로 신호 수신에 안정적이지 않아 측위 성능이 저하된다.

이러한 넓은 실내 공간에서의 측위 성능 저하는 Wi-Fi 신호 정보만으로는 극복하기 힘들며, 그 해결책 중 하나로서 BLE 비컨, NFC 등 대체 센서 정보에 기반한 보정 방법을 들 수 있다. 이때 넓은 대상 공간 전체에 대체 센서를 설치하면 고비용이 소요되므로, Wi-Fi 측위 성능이 떨어지는 구역에 한해서 대체 센서를 설치하는 방식을 도입하면 저비용으로도 전체 측위 성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 대상 공간 사전 조사 단계에서 수집된 Wi-Fi Fingerprint의 특성을 파악하여, Wi-Fi 기반 실내 측위 기법의 성능에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 최종적으로는 분석 결과를 기반으로 하여 긴 시간 동안의 서비스 단계 측위 성능 분석 과정을 거치지 않고도 Wi-Fi 기반 측위 성능이 떨어지는 구역을 예측하고 선정할 수 있는 기법을 제안한다.

II. 본론

A. Wi-Fi Fingerprint Matching

Wi-Fi 기반 실내 측위 기법에 사용되는 Wi-Fi Fingerprint는 AP의 MAC 주소와 RSS의 순서쌍을 원소로 가지는 집합이다. 사전 조사 단계에서는 대상 공간을 일정 크기로 나눈 Grid마다 Fingerprint를 미리 수집하여 Fingerprint DB를 구축하고, 서비스 단계에서는 사용자가 관찰한 Fingerprint와 Fingerprint DB를 비교하여 가장 유사한 Fingerprint와 대응되는 위치로 사용자의 위치를 예측한다. [1]

두 Fingerprint 간의 유사성을 측정하는 방식으로 신호 공간에서의 Euclidean distance를 사용하는데, 이는 곧

두 Fingerprint의 공통된 AP들을 하나의 차원으로 삼고 각 차원의 RSS (Received Signal Strength)의 차이를 합산한 값이다. 이때, 두 Fingerprint 간에 공통되지 않은 AP를 계산 과정에서 배제하는 방식[2]과, 해당 AP의 RSS를 최소값으로 주어서 계산하는 방식[1]이 있다. 본 논문에서는 더 나은 측위 성능을 보이는 [2]의 계산 방식을 적용하였다.

B. Probability of Correct Grid Decision

Fingerprint의 특성에 기반한 측위 성능 예측을 위해서 서비스 단계에서 Wi-Fi 측위 성능이 떨어지는 Grid들을 대상으로 사전 조사 단계에서 수집한 Fingerprint들이 어떤 특성을 보이는지 분석하였다. 직관적으로, 어떤 Grid에서 수집된 Fingerprint와 유사한 Fingerprint를 가지는 이웃 Grid들이 많으면, 측위 결과가 목표한 Grid가 아닌, 이웃한 Grid로 잘못 지정될 가능성이 높을 것이다. [3]

[3]에서 제안된 확률적인 추정 방식에 의하면, 이웃한 Grid들이 존재하는 상황에서 사용자가 있는 Grid를 정확히 예측할 확률은 해당 Grid와 이웃 Grid 한 개에 대해 해당 Grid를 정확히 예측할 확률을 이웃 Grid들 모두에 대해 연산하고, 그 결과를 곱한 값이다. 두 개의 Grid i 와 k 가 있고, 사용자가 Grid i 에 있다고 하자. Grid i 와 k 의 Fingerprint를 각각 R_i , R_k , 사용자가 수집한 Fingerprint를 R 라고 할 때, 사용자가 있을 위치를 Grid k 로 틀리게 예측할 확률은 다음과 같다.

$$PEP(\vec{R}_i, \vec{R}_k) = P(\|\vec{R}_i - R\| < \|\vec{R}_k - R\|) = Q\left(\frac{sd_{ik}}{2\sigma}\right) \quad (\text{식 1})$$

따라서 사용자의 위치를 Grid i 로 정확하게 예측할 확률은 다음과 같다.

$$PCP(\vec{R}_i, \vec{R}_k) = 1 - PEP(\vec{R}_i, \vec{R}_k) = 1 - Q\left(\frac{sd_{ik}}{2\sigma}\right) \quad (\text{식 2})$$

위 두 식에서 $Q(x)$ 는 평균이 0인 Gaussian 분포를 따르는 임의 변수가 x 보다 클 확률, sd_{ik} 는 R_i , R_k 의 Euclidean distance이고, σ 는 측정된 RSS의 표준 편차이다. sd_{ik} 의 경우 이웃 Grid와의 실제 거리에 따라 측위 성능에 끼치는 영향이 달라지는 점을 고려하여 각기 실제 거리로 정규화한 값을 사용하였다.

최종적으로, 두 Grid 사이에서 사용자의 위치를 정확히 예측한 확률인 PCP(식 2)를 전체 이웃 Grid 들에 대해 확장한 확률은 다음과 같다.

$$P(CD) = \prod_{i=1}^K PCP(\hat{R}_i, \tilde{R}_i) \quad (\text{식 3})$$

확률을 계산하는 시간을 줄이기 위해, 해당 Grid 에서 일정 거리 이내에 있는 Grid 만을 이웃한 Grid 로 선정하였다.

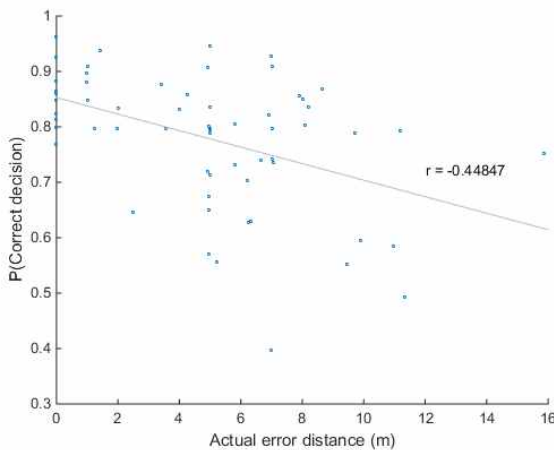
C. Wi-Fi AP Count Ratio

Wi-Fi Fingerprint matching 성능에 영향을 미치는 다른 요인으로서는 불안정한 Wi-Fi AP 탐지 결과가 될 것이다. 어떤 Grid 의 사전 수집 단계에서는 감지가 되어 Fingerprint DB 에 등록이 되었으나, 측위 단계에서 사용자가 비슷한 위치에서 수집했을 때는 해당 AP 가 감지되지 않는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 현상이 나타나는 AP 의 개수가 많을 경우에는 Fingerprint matching 오류를 유발시킬 가능성이 높다. 어떤 위치에서의 AP 감지의 안정성을 표현하기 위해 다음의 식을 사용하였다.

$$\text{count ratio} = \frac{\text{감지 확률이 절반 이상인 AP 의 개수}}{\text{grid에서 감지된 총 AP 의 개수}} \quad (\text{식 4})$$

D. 실험 결과

앞서 설명한 두 가지 요인이 Wi-Fi 기반 측위 성능에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위해서 실제 공간에서의 Wi-Fi Fingerprint 수집 및 측위를 수행하였다. 실험은 서울대학교 제 1 공학관(301 동) 2 층에서 지하 1 층까지 이어지는 넓은 공간에서 진행하였다. 먼저 주어진 실내 공간을 5m * 5m 크기의 Grid 로 나누고, 각 Grid 의 Wi-Fi Fingerprint 를 수집하여 측위용 Fingerprint DB 를 구성하였다. 구성된 Fingerprint DB 를 통해서 각 Grid 별로 correct decision 확률과(P(CD)) AP count ratio 를 측정하였다. P(CD)를 계산할 때의 두 Grid 사이의 거리 기준은 15m 이내로, count ratio 를 계산할 때 분자에 관여하는 감지 확률 기준은 전체 탐색 횟수의 50%로 설정하였다. 그 다음, 구성된 측위용 DB 와는 별도로 각 Grid 에서 Fingerprint 를 수집하여 측위용 DB 에 있는 Fingerprint 와 matching 하였다. 이후, 각 Grid 에 대한 서비스 단계에서의 측위 오차를 측정하여, 측위 오차와 P(CD) 및 count ratio 의 상관 관계를 분석하였다.

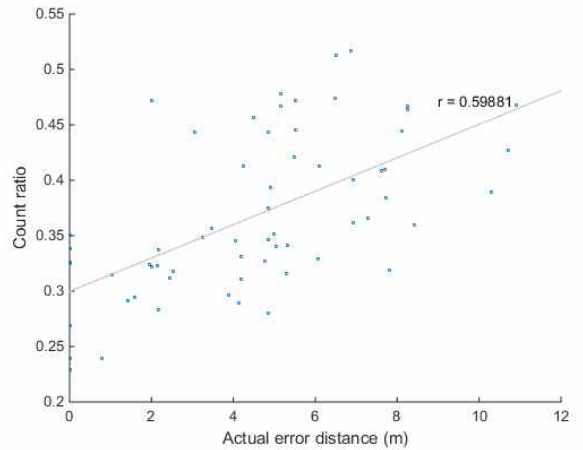


<그림 1> 측위 오차와 P(CD)의 관계

Grid 에 대한 P(CD)가 낮을수록 사용자가 해당 Grid 에 있을 때의 오차가 커지는 경향을 보였다. P(CD)가 낮을수록 사용자가 실제 있는 Grid 가 아닌 이웃한

Grid 를 선택할 확률이 높아지므로 오차가 생길 확률이 높아지고 오차의 크기도 커지게 된다.

반면, Grid 의 count ratio 가 높을수록 사용자가 해당 Grid 에 있을 때의 오차가 커지는 경향을 보였다. 실내 측위에 있어서 감지된 AP 의 숫자가 어느 정도 이상 커지면 측위 성능의 향상이 정체되는 수확 체감이 발생한다고 한다. [5] 감지될 확률이 높은 AP 의 개수가 필요 이상으로 많아지면, 다수의 AP 들 사이에서 경쟁이 일어나 상대적으로 약한 신호가 감지되지 않는 현상이 발생하여 측위 성능이 오히려 떨어지는 효과를 가져온다고 할 수 있다.



<그림 2> 측위 오차와 count ratio 의 관계

III. 결론

본 논문에서는 넓은 공간에서 Wi-Fi 기반 실내 측위 기법 성능에 영향을 미치는 요인을 분석하였고, 이를 통해서 측위 성능이 떨어지는 구역을 예상하고 선정할 수 있도록 하였다. 후속 연구에서는 측위 성능이 떨어지는 특정 구역을 선정하여, 다른 센서 데이터로 측위 성능을 보정하는 방법을 연구하여 넓은 공간에서도 좋은 성능을 보이는 실내 측위 기법을 연구 및 개발할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 ICT/SW 창의연구과정사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2014-H0510-14-1015).

참고 문헌

- [1] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System," in Proc. of IEEE INFOCOM 2000.
- [2] S. Jeon, Y. Suh, C. Yu, and D. Han, "Fast and Accurate Wi-Fi Localization in Large-Scale Indoor Venues," in Proc. of MOBIQUITOUS 2013.
- [3] N. Swangmuang and P. Krishnamurthy, "Location Fingerprint Analyses Toward Efficient Indoor Positioning," in Proc. of IEEE PerCom 2008.
- [4] N. Brouwers, M. Zuniga, and K. Langendoen, "Incremental Wi-Fi Scanning for Energy-Efficient Localization," in Proc. of IEEE PerCom 2014.